

УДК 621.387.462

М.Л. Пінчук, студент гр. ПО-71мп, к.ф.-м.н., доц. Богатирьова Г.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

СТОКС-ПОЛЯРИМЕТРИЧНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ В ОПТИЦІ ШОРСТКИХ ПОВЕРХОНЬ

Анотація: Розглянуто закономірності відбивання поляризованого випромінювання від границь розділу шорстких поверхонь із заданими оптичними властивостями. Запропоновані методи вимірювання оптико-геометричних параметрів шорстких поверхонь на основі стокс-поляриметричних вимірювань.

Ключові слова: Параметри Стокса, поляризація, дифракція, розсіяння, аналізатор, розсіювання.

ВСТУП

Теорія розсіяння випромінювання шорсткою поверхнею базується на представленні поверхні у вигляді неперервного випадкового набору висот та впадин а також кутів нахилу нерівностей або хаотично розподілених мікроплощин. Структура реальної шорсткої поверхні буде залежати від технології її отримання. Так, при травленні поверхні переважають гладкі нерівності, а при шліфуванні абразивом реалізуються поверхні із нерівностями у вигляді статистичного набору мікроплощин. Дана робота базується на можливості застосування стокс поляриметричних вимірювань для досягнення максимальної точності вимірювань шорсткості оптичних поверхонь.

ВИХІДНІ ПОЛОЖЕННЯ

Перетворювання інтенсивності і стану поляризації світла в результаті його взаємодії з об'єктом дуже багато описуються за допомогою матриці перетворення параметрів Стокса поля випромінювання – матрицею розсіяння (1).

$$F_{ik} = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} & F_{14} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} & F_{24} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} & F_{34} \\ F_{41} & F_{42} & F_{43} & F_{44} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Елемент матриці, що складається на перехресті І-ного рядку і К- того стовбця представляє собою міру перетворення К-того параметру Стокса опромінюваного пучка в І-ний параметр Стокса результуючого пучка.

В багатьох виразах стокс-параметричні описи стану поляризації світла виходять більш зручними, порівняно з традиційними. Головна перевага цього методу в тому, що стан поляризації описується в термінах інтенсивності-безпосередньо вимірюваних величин.

Параметри Стокса (2) можна визначити через складові вектора комплексних амплітуд поля, існує простий зв'язок цих параметрів з складовими тензора когерентності поля.

Експериментально параметри стокса знаходяться через поляризовані компоненти поля випромінювання:

$$S_1 = I_0 - I_{90} = I_{45} - I_{-45} = I_{np} + I_{лев} \quad (2)$$

$$S_1 = I_0 - I_{90}$$

$$S_1 = I_{45} - I_{-45} \quad (3)$$

$$S_1 = I_{np} + I_{лев}$$

Одним із можливих способів розрахунку елементів матриці розсіювання через параметри Стокса відповідає формулам(4):

$$F_{i1} = 0,5[S_i^1 + S_i^2]$$

$$F_{i2} = 0,5[S_i^1 + S_i^2] \quad (4)$$

$$F_{i3} = S_i^3 + F_{i1}$$

$$F_{i4} = S_i^4 + F_{i1}$$

Де S_i^k параметри Стокса перетвореного поля випромінювання. Індеси І-4 відповідають умовам випромінювання.

Елементи матриці розсіювання мають статистичний сенс. Статистика проявляється хоча б в тому, що 16-ю дійсними числами можна повністю описати загальні властивості скільком завгодно сильно розсіяних частинок з довільно складним механізмом розсіювання. При деяких довільно загальних умов структура матриці розсіювання спрощується. Окремі елементи матриці можуть виявитись рівносильними з однаковими або протилежними знаками, деякі рівні нулю. Матриця виявляється в окремому сенсі симетричною відносно своєї головної діагоналі. Симетрія матриці являється наслідком статистичної симетрії оптичних характеристик розсіяного середовища, обумовленою як конфігураційними факторами, так і оптичними властивостями розсіювання частинок.

В літературі досить змістовно викладене питання про характер симетрії матриці розсіювання стосовно до розсіювання часток. Подібні результати виходять і в процесі аналітичного рішення задачі розсіювання світла з шорсткими поверхнями бугерівського типу з урахування дифракції.

ДОСЛІДИ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ТА ЗНАХОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МАТРИЦІ

Симетрія матриці розсіювання являється універсальною властивістю розсіювачів і відбиває деякі загальні характеристики цих об'єктів. Це справедливо для розсіювальних поверхонь різних походжень.

В різних дослідженнях поляризаційні експерименти ставляться неоднакові. Деякі із них мають висновки про поляризаційні властивості об'єкту, отримані на основі експериментів, виконаних в лінійно поляризаційному світлі, причому і поляризатор, і аналізатор виділяють Р- і S- компоненти світла. В інших роботах опромінювання об'єкту проводилось також лінійно-поляризованим світлом з азимутом поляризації 45 градусів. Проводився дослід з освітленням об'єкта світлом Р- і S- поляризацією без використання аналізатора. Часткові висновки про оптичні властивості об'єктів, отримані в кожній із цих робіт експериментально достатньо обумовлені. Однак, вони можуть виявитись

недостатніми для судження про справжні механізми взаємодії, та природи явища світлорозсіювання.

В роботі підмічено несумісність результатів згаданих випробувань а це значить що із таких часткових результатів неможна синтезувати загальне уявлення. Труднощі порівняльного аналізу і інтерпретації результатів поляризаційних дослідів визначаються відсутністю видимих взаємозв'язків поляризаційних характеристик розсіяного світла.

В роботі кут максимуму степені поляризації світла зміщується з збільшенням мікрорельєфу зразку в область більших кутів випромінювання і нагляду. Для аналогічних зразків досліджених в нашій роботі мають місце зміщення кута, згідно максимуму деполаризації, в область менших кутів при збільшенні мікрорельєфу зразків. Відмінності в поведінці поляризаційних характеристик розсіяного світла з цього можна зробити висновки про механізм розсіювання світла шліфованим склом. Своєчасним є представлення зауваження про невідповідність результатів досліджень, зроблені в роботі, в висновках яких автори виділили увагу як раз умовам експериментів.

Новітня поляризаційна методика випробувань, основана на вектор-параметричному опису поля випромінювання і дозволяє знайти всі 16 елементів матриці розсіювання, забезпечує повноту оптичного експерименту, в аспекті фотометричних і поляризаційних характеристик світла.

На основі вимірювань, виконаних в роботі, можна побудувати методику знаходження чотирьох елементів, які знаходяться в лівому верхньому кутку 2x2 матриці розсіювання. Використовуючи сукупність вимірювань, зроблених в роботі, можна також знайти елементи лівого верхнього кутка 2x2 матриці. Однак в загальному випадку знаходяться лише елементи F_{11} і F_{12} . Подібний підхід до результатів роботи знаходить, що отримана в цій роботі кількість інформації відповідає знаходженню елементів матриці які знаходяться в лівому верхньому 3x3 кутку. Очевидно що порівняно велика область характерна для результатів роботи. З позиції роботи ці результати пояснити не вийде. Але з цієї позиції можна пояснити результати роботи.

Статистична симетрія неоднорідності, яка складає розсіюваний об'єкт виражається в симетрії матриці розсіювання. Тільки в цьому випадку коли $F_{12} = F_{21}$ степені поляризації розсіяного світла P_* при опроміненні простим світлом і аналізовані поляризаційним фільтрами з кутом поляризації від 0 до 90 градусів, однакові по величині при опроміненні об'єкту світлом P і S поляризації і при відсутності аналізатора, і виражається значеннями елементів $F_{12} = F_{12} \setminus F_{11}$ або $F_{21} = F_{21} \setminus F_{11}$. Степені поляризації розсіяного світла $P_{||}$ і P_{\perp} коли поляризатор і аналізатор виділяються P - і S - компоненти світла вони виражаються відношеннями(5,6,7):

$$\begin{aligned} P_{||} &= \left[\frac{F_{22} + F_{21}}{1 + F_{12}} \right] = \left[\frac{F_{22} + P_*}{1 + P_*} \right] \\ P_{\perp} &= \left[\frac{F_{22} + F_{21}}{1 + F_{12}} \right] = \left[\frac{F_{22} + P_*}{1 + P_*} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Або:

$$\begin{aligned}P_{\parallel} + P_{\parallel}P_* &= F_{22} + P_* \\ P_{\perp} + P_{\perp}P_* &= F_{22} + P_*\end{aligned}\quad (6)$$

Тоді:

$$P_* = \frac{P_{\parallel} + P_{\perp}}{2 + (P_{\parallel} + P_{\perp})} = \frac{\Delta_{\parallel} + \Delta_{\perp}}{\Delta_{\parallel} + \Delta_{\perp}} \quad (7)$$

Де $\Delta_{\parallel} = I - P_{\parallel}$ і $\Delta_{\perp} = I - P_{\perp}$ відповідні степені деполаризації світла. Із формули витікає зворотня залежність величин P_* і P_{\parallel} або P_{\perp} .

Таким чином є зрозумілий факт протилежне зміщення кутів, відповідних максимумів величин P_* і Δ_{\parallel} з збільшеним мікрорельєфом зразків. Підмітимо що величини P_* , отримані нами експериментально і шляхом обрахунків, згідно формулі на основі P_{\parallel} і P_{\perp} , також отримані експериментально.

ВИСНОВОК

Задачею цієї роботи було дослід явища розсіяння світла об'єктами з шероховатою поверхнею виявлення слою мікротріщин прилягаючих до рельєфного шару шліфованого скла. Та спрощення обрахунку шорсткості поверхонь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Топорец А.С. Оптика шероховой поверхности. – Ленинград: Машиностроение, 1982.
2. Бас Ф.Г., Фукс И.М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М.: Наука, 1972.
3. Garcia N., Gelli V. Exact multiple scattering waves from random rough surfaces // Optics Communications. – 1979. – 30, No.3. – P.278-281.
4. Кошелёв Е.М., Бородулин В.П., Зембрицкий А.П., Пузанов А.А. Диффузное отражение света от неровной поверхности // Вестник Моск. ун-та, сер. Физика, астрономия. – 1977. – 18, вып.
5. – С.25-34. 5. Полянский В.К. Матрица рассеяний излучения на матовой поверхности в дифракционном приближении // Оптика и спектроскопия. – 1968. – 24, вып. 2. – С.989-994.
6. Сахновский М.Ю., Сербунев Я.М., Кунецкий М.Г. Применения матриц отражения для изучения оптических свойств шероховатых поверхностей // Журнал прикладной спектроскопии. – 1983. – 39, вып.1. – С.118-125.

Наук.керівник-, к.ф.-м.н., доц. Богатирьова Г.В.